Water Pollution Research
Journal of Canada, 20 (2) : 75-99
1985

REPARTITION SPATIALE DES CONTAMINANTS DANS LES SEDIMENTS DU LAC ST-LOUIS (FLEUVE ST-LAURENT)

V. Jarry[1], P. Ross[1,2], L. Champoux[1], H. Sloterdijk[3], A. Mudroch[4], Y. Couillard[1] et F. Lavoie[1,3]

[1] Département de Sciences biologiques, Université de Montréal, C.P. 6128, Succursale "A", Montréal, Québec, H3C 3J7 CANADA.
[2] Illinois Natural History Survey, 607 East Peabody Drive, Champaign, IL, 61820 E.-U. A.
[3] Direction générale des eaux intérieures, Environnement Canada, 1001 Pierre Dupuy, Longueuil, Québec, J4K 1A1 CANADA.
[4] Institut national de recherches en eaux, Burlington, Ontario, L7R 4A6 CANADA.

RESUME

Les sédiments de 39 stations du lac St-Louis ont été échantillonnés et analysés pendant l'été 1984 pour la granulométrie, dix éléments majeurs et les contaminants (Ni, Co, Cr, V, Pb, Zn, Hg, As, HCB, pp'-DDE, Aroclor 1242™, Aroclor 1254™, Aroclor 1260™). Dans la plupart des stations les teneurs sont plus élevées que les normes établies par le ministère de l'Environnement de l'Ontario pour le dépôt de déchets de dragage en eau libre. Avec ces données, nous avons réalisé des cartographies du lac, ce qui nous a permis de discerner trois zones où les teneurs en contaminants sont plus élevées : entre la baie de Valois (Dorval) et la Grande Anse (île Perrot), au sud des îles de la Paix (Beauharnois) et au sud de l'île Perrot (Anse au Sable). D'autre part, nous avons calculé des corrélations entre les variables, ce qui nous a permis de constater qu'il existe de fortes corrélations entre les métaux lourds et entre les contaminants organiques entre eux, mais beaucoup moins entre ces deux groupes de contaminants. Finalement, des méthodes statistiques multidimensionnelles ont été utilisées pour regrouper les stations en fonction de leur composition chimique, et cartographier le lac St-Louis. Il en ressort un groupe principal pour les éléments majeurs comprenant les 3 zones de sédimentation. Cependant, ces trois zones semblent avoir des caractéristiques différentes quant à leur composition en contaminants.

ABSTRACT

In the summer of 1984, sediments were sampled at 39 stations in Lake St. Louis. They were analysed for granulometry, major elements and selected contaminants (Ni, Co, Cr, V, Pb, Zn, Hg, As, HCB, pp'-DDE, Aroclor 1242™, Aroclor 1254™ and Aroclor 1260™). Concentrations of contaminants for which Ontario Ministry of Environment guidelines exist exceeded these norms at several stations for all variables except Co.

87-05274/

The raw data were used to produce distribution maps, and three zones of high contaminant levels were identified: betwen Valois Bay (Dorval) and Grande Anse (Ile Perrot); south of the Iles de la Paix (Beauharnois); and south of Ile Perrot (Anse au Sable)

Strong correlations exist among metals and among organic contaminants but correlations between the two groups were much weaker. Multidimensional methods were used to group the stations for 10 majors elements. The principal resulting group does not correspond to the three zones identified as having high contaminant levels.

INTRODUCTION

L'étude chimique des sédiments permet d'apporter une information intéressante sur la quantité de polluants accumulés dans l'environnement aquatique (Lascombe et Carbot, 1984). De cette évaluation, il est possible de prévoir le risque potentiel que peuvent comporter les sédiments pour les organismes vivants.

La présente étude s'inscrit dans un vaste projet, réalisé conjointement par la Direction générale des eaux intérieures, région Québec (DGEI-Q), d'Environnement Canada et les départements de Chimie et de Sciences biologiques de l'Université de Montréal, sur les bassins de sédimentation du fleuve St-Laurent au Québec (lacs St-Louis, des Deux Montagnes, St-Pierre et St-François, bassin de Laprairie, îles de Boucherville). Le lac St-François a été étudié de 1979 à 1981 (Sloterdijk, 1985). Les résultats présentés ici ont été recueillis au lac St-Louis durant l'été 1984.

Le lac St-Louis est un élargissement du fleuve St-Laurent (figure I), situé au sud-ouest de l'île de Montréal, entre les latitudes 45°15' et 45°30' nord et les longitudes 73°40' et 74°00' ouest (Brunditt, 1963). Il a une longueur de 23 km et sa surface couvre 148 km^2 (Préfontaine, 1942). La profondeur moyenne est d'environ 3 mètres alors que la profondeur maximale est de 28 mètres (Pageau et coll., 1971).

Le lac St-Louis reçoit de "l'eau brune" de la rivière des Outaouais via les deux côtés de l'île Perrot et de "l'eau verte", provenant des Grands Lacs, en beaucoup plus grande quantité (13 fois plus) via le canal de Beauharnois et le fleuve St-Laurent (figure II). Il se compose donc de deux masses d'eau fondamentalement distinctes ainsi que d'une masse d'eau mixte de caractéristiques intermédiaires (Brunditt, 1963; Pageau, 1971; Gouin et Malo, 1977). On compte d'autres tributaires mineurs, dont les rivières Châteauguay, St-Louis et St-Jean. L'eau du lac St-Louis s'écoule par les rapides de Lachine et la Voie Maritime. Une description plus détaillée du lac St-Louis est présentée par St-Cyr (1984).

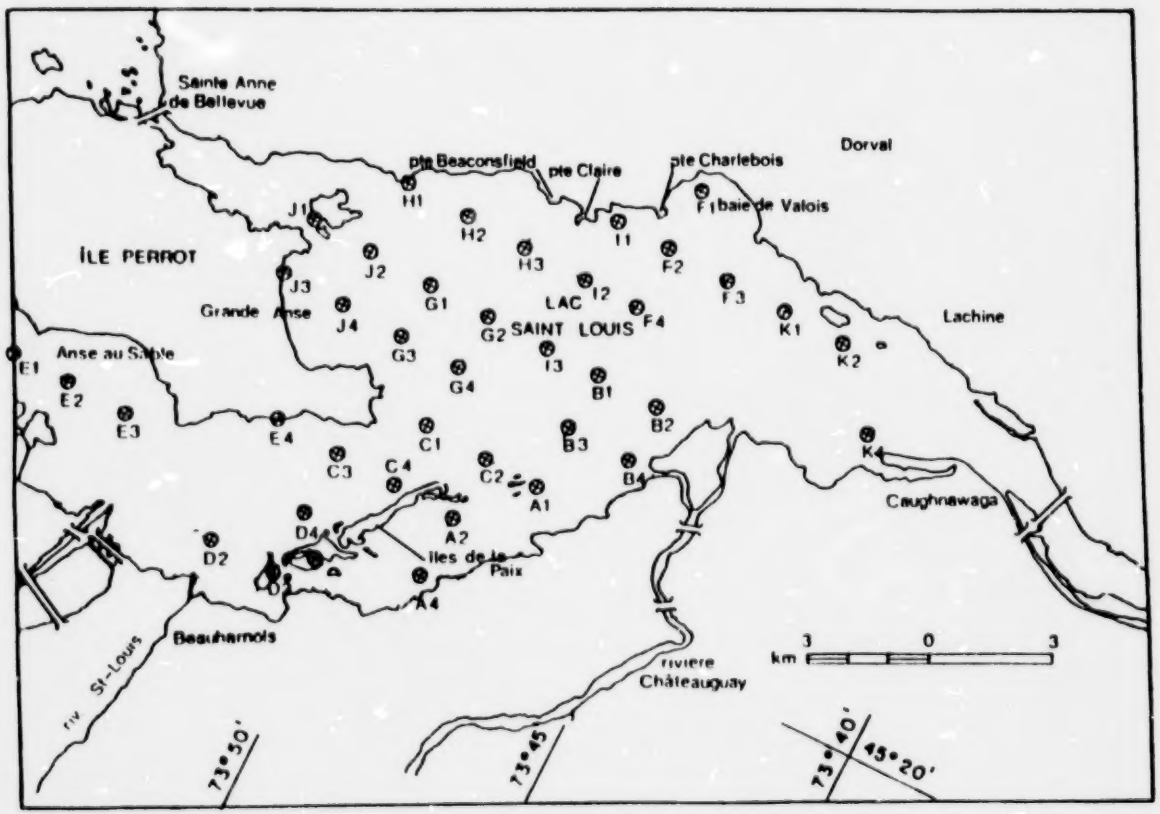

Figure 1 Le lac St-Louis avec la position des stations d'échantillonnage de sédiments de l'été 1984

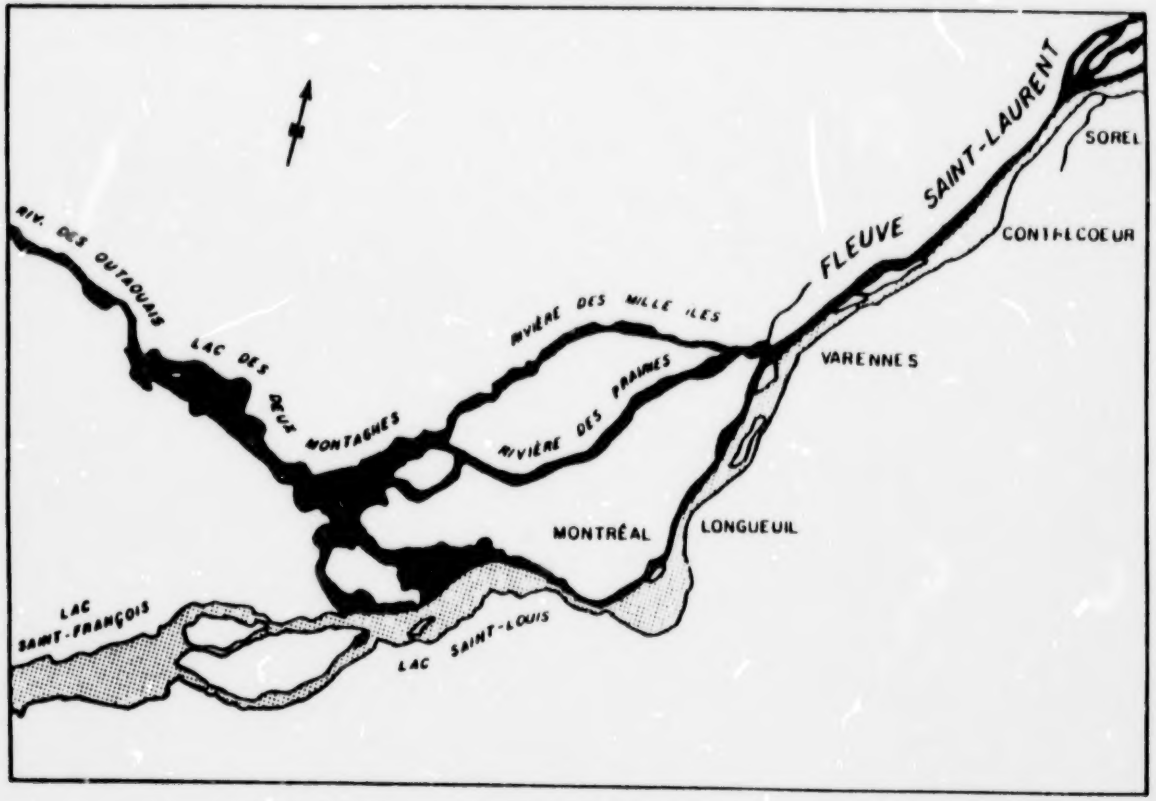

Figure II Vue globale des deux masses d'eau (rivière des Outaouais ■ fleuve St-Laurent ▭) dans la region de Montreal

Un des objectifs de notre étude est de décrire la répartition spatiale des contaminants dans les sédiments du lac St-Louis. Peu d'études sur la teneur en contaminants des sédiments du lac St-Louis ont été effectuées. Citons Sérodes (1978), qui y trouvait des teneurs assez élevées en mercure dans la région des îles de la Paix, près de la rivière St-Louis. Mais, à notre connaissance, aucune cartographie approfondie des contaminants des sédiments du lac St-Louis n'a encore été réalisé. Dans notre étude, 10 variables minéralogiques ont été analysés (Si, Al, Fe, Mg, Ca, Na, K, Ti, MnO et P), 7 métaux lourds (Ni, Co, Cr, V, Pb, Zn, et Hg), un métalloïde (As), 5 composés organiques (HCB, pp'-DDE, Aroclor1242™, Aroclor1254™ et Aroclor1260™) et la granulométrie. Nous présentons ici nos résultats sous forme de cartes et tentons d'établir s'il existe des relations entre ces différentes variables.

METHODOLOGIE

La position des stations d'échantillonnage a été choisie selon un plan systématique. Ce plan impose une distance minimale (ici de 1,7 km) entre les stations et évite la collecte d'informations redondantes (Frontier, 1983). Grâce à une carte de granulométrie (Projet Archipel,1983), nous avons exclu de la surface étudiée du lac les régions de roc et de gravier. 39 stations ont été sélectionnées (figure 1).

Le positionnement sur le lac a été fait par des méthodes de triangulation utilisant un telluromètre (Tellurometer, MRD1) et un théodolyte (Hughes-Owens co, Cooke, Troughton and Simms).

Les échantillons de sédiments ont été prélevés de juin à août 1984. Un volume de 10 à 20 litres de sédiments par station a été recueilli à l'aide d'une benne Peterson. Après une homogénéisation manuelle, 5 aliquotes de 100 ml de sédiments ont été prélevés pour les différentes analyses chimiques et granulométriques. Le restant a été conservé au froid (4°C) et à l'obscurité pour effectuer des bioessais après l'élutration.

Les teneurs en éléments majeurs et en métaux lourds ont été déterminées par spectrométrie de fluorescence au rayons-X. L'erreur de précision a été vérifiée par l'examen de cinq boulettes tirées d'un échantillon homogénéisé. Pour les éléments majeurs on doit alors s'attendre aux déviations relatives suivantes: SiO_2, 2%; K_2O et Al_2O3, 4%; Fe_2O3 et CaO, 2%; MgO et Na_2O, 10%. Les déviations pour MnO, TiO_2 et P_2O_5 s'étalent entre 0,01 et 0,02 %. Pour les métaux (Zn, Cr, Co, Ni, et Pb) les déviations absolues devraient varier entre 3 et 15 mg x Kg^{-1}, aux niveaux de concentrations présents dans nos échantillons. La fiabilité de nos déterminations a été vérifiée par l'analyse des standards canadiens de référence Syenite SY-2, SO-2 et SO-4, suivie d'une comparaison entre les résultats obtenus et les valeurs de référence. La composition minéralogique a été étudiée par diffraction des rayons-X en poudre, utilisant une cible de Cu avec un filtre de Ni. Les BPCs,

HCB et pp'-DDE ont été analysés par les méthodes décrites par Environnement Québec (Anonyme 1980). Les pourcentages de limon et d'argile ont été calculés par une méthode de tamisage et de sédigraphie (Duncan et LaHaie, 1979). Bien que l'As soit un métalloïde, nous l'avons considéré dans notre interprétation comme un métal lourd.

METHODES STATISTIQUES

Les cartes ont été exécutées avec l'aide du logiciel Symap® (Dougenik et Sheenan, 1977). Ce logiciel établit une cartographie en utilisant un coefficient de distribution par point ("point distribution coefficient") obtenu par la méthode des plus proches voisins (Clark et Evans, 1954). Il établit la concentration entre les points d'échantillonnage d'une variable (contaminants, pourcentage d'argile et de limon) par interpolation. Cette méthode permet donc d'établir une cartographie qui est le reflet plus ou moins précis, selon la densité des stations, de la répartition spatiale d'une variable.

Nous avons utilisé le coefficient symétrique de Gower (Gower, 1971; Legendre et Legendre, 1984) comme méthode de calcul de ressemblance entre nos objets (stations). Ce coefficient de similarité permet de combiner des descripteurs (variables) quantitatifs n'ayant pas nécessairement la même échelle. La matrice ainsi obtenue attribue un niveau de ressemblance de 1 à 0 à chaques paires de stations. Une similarité égale à 1 indique une ressemblance parfaite. Par la suite, nous avons réalisé les groupements par agglomération hiérarchique à liens intermédiaires (Legendre et Legendre, 1984). Cette méthode permet de créer des groupes de stations semblables quant à la composition chimique de leurs sédiments. Elle permet de fixer un certain niveau de connexité, qui représente la proportion des liens possibles nécessaires pour que deux groupes se fusionnent (connexité fixée à 0,75). De ces groupes, nous avons fait une cartographie du lac.

Nous avons utilisé les coordonnées principales comme méthode d'ordination (Gower, 1966; Legendre et Legendre, 1984). Elle permet, à partir de la matrice de similarité, de situer les objets dans un espace de dimension réduite qui préserve le mieux possible les relations de ressemblance entre eux. Elle donne les coordonnées des objets par rapport aux axes. Nous avons calculé des corrélations ("TAU" de Kendall) entre ces coordonnées et les variables étudiées. Le but de cette analyse est d'identifier une (ou plusieurs) variable(s) responsable(s) de la position des objets dans l'espace réduit des coordonnées principales et expliquant la composition chimique des sédiments.

Pour déterminer les relations entre les descripteurs, nous avons utilisé le "TAU" de Kendall (τ) (Legendre et Legendre, 1984), un coefficient de corrélation non-paramétrique bien adapté aux descripteurs quantitatifs, en relation non linéaire.

Nous suggérons aux lecteurs qui désirent plus d'informations sur les méthodes statistiques utilisées de se référer à Sokal et Rohlf (1981) et à Legendre et Legendre (1984).

RESULTATS ET DISCUSSION

COMPOSITION DES SEDIMENTS ET DE LA MINERALOGIE

Les teneurs en éléments majeurs les plus abondants (Si, Al, Ca, Fe et K) reflètent les minéraux dominants à chaque station d'échantillonnage. Les quartz et les feldspaths dominent dans les fractions à gros grains (> 63 µm). Dans la fraction entre 4 et 63 µm, on trouve des quartz, des feldspaths et de la calcite. L'illite est le minéral dominant dans la fraction argileuse (< 4 µm), accompagnée de faibles quantités de chlorite.

Le Tableau I montre les relations entre les éléments majeurs. Al, qui représente le contenu en minéraux argileux, est fortement corrélé avec K, Fe et Mg. La relation entre Al et Mg témoigne de la présence de chlorite. Le rapport entre Al et Ti suggère que le Ti est lié en réseaux argileux, comme postulé par Dolcarter et coll. (1970). La relation entre Al et Fe indique l'association de ce dernier aux minéraux argileux, tels que l'incorporation dans le réseau cristallin du chlorite, ou l'adsorption sur les particules argileuses. La corrélation significative entre Mn et Fe suggère une adsorption/précipitation de ces deux éléments, probablement comme oxydes hydratés à la surface des particules à grains fins. Les rapports entre P et Mn et entre P et Fe indiquent qu'il y a association de P aux oxides hydratés de Mn et de Fe, phénomène souvent trouvé au cours d'études géochimiques des sédiments (par exemple Williams et coll., 1976).

Le Si est un constituant majeur (en tant que SiO_2) du sable (fraction >63 µm); il est par conséquent négativement corrélé avec les éléments associés aux minéraux argileux et aux particules fines (Tableau I).

Le Ca se trouve sous forme de calcite et, avec le Na, sous forme de plagioclases. Les rapports entre ces deux métaux et les autres éléments majeurs sont très faibles. Les teneurs en Na dans les sédiments du lac St-Louis sont plus fortes (jusqu'à deux fois) que celles retrouvées dans les sédiments superficiels du bassin de Kingston dans le lac Ontario (Kemp et coll., 1977). Les teneurs les plus fortes en Na se rencontrent dans les stations qui sont influencées par les eaux de la rivière des Outaouais. Ceci suggère l'apport sous formes de grains de feldspaths alkalins, riches en Na, originaires des roches ignées de la haute Outaouais. Les teneurs en Ca, par contre, sont généralement plus faibles au lac St-Louis qu'au bassin de Kingston. Les plus fortes teneurs en Ca (qui atteignent les niveaux de celles du bassin de Kingston) se trouvent dans la partie sud-est du lac St-Louis. Le maximum relatif de Ca témoigne de l'effet des affluents (entre autres, les rivières St-Louis et Châtauguay, qui se trouvent dans les dépôts sédimentaires) sur la géochimie des sédiments de la région sud-est du lac.

Tableau I. Matrice de corrélation (τ de Kendall) des éléments majeurs des sédiments prélevés à 39 stations du lac St-Louis en été 1984. Les corrélations significatives sont indiquées par des astérisques ($*$ $p < 0,05$; $**$ $p < 0,01$; $***$ $p < 0,001$).

	Si	Al	Fe	Mg	Ca	Na	K	Ti	Mn	P
Si	1	-0,69 ***	-0,78 ***	-0,68 ***	-0,13	0,08	-0,65 ***	-0,58 ***	-0,74 ***	-0,39 ***
Al		1	0,71 ***	0,67 ***	0,00	0,12	0,77 ***	0,74 ***	0,70 ***	0,32 **
Fe			1	0,55 ***	-0,05	-0,02	0,59 ***	0,70 ***	0,89 ***	0,48 ***
Mg				1	0,26 *	-0,06	0,75 ***	0,55 ***	0,54 ***	0,21
Ca					1	-0,31 ***	0,12	-0,11	-0,11	-0,03
Na						1	0,06	0,12	0,05	0,25
K							1	0,69 ***	0,56 ***	0,23 *
Ti								1	0,70 ***	0,36 **
Mn									1	0,55 ***
P										1

REPARTITIONS SPATIALES

ARGILE ET LIMON

La répartition spatiale des pourcentages d'argile et de limon (particules ≤ 0,0625mm) des sédiments du lac St-Louis permet de reconnaître deux zones principales à plus haut pourcentage (figure III). La première est située au nord du lac entre la Pointe Claire (Pointe-Claire) et la Grande Anse (Île Perrot) et correspond assez bien à l'une des zones de sédimentation décrites par Sérodes (1978). Une deuxième zone à fortes concentrations d'argile et de limon se retrouve au sud des îles de la Paix (Beauharnois). Cette zone a cependant des pourcentages beaucoup plus faibles que la précédente. La troisième zone de sédimentation décrite par Sérodes (1978), au sud de l'Île Perrot (Anse au Sable), n'est pas caractérisée, selon nos résultats, par de très fortes concentrations d'argile et de limon. D'autre part, il existe une quatrième zone caractérisée par de faibles pourcentages en argile et limon; cette zone comprend la région centrale, où passe la Voie Maritime du St-Laurent, et celle de l'émissaire du lac. Cette dernière zone est caractérisée par des courants plus forts (Sydor, 1978), ce qui empêche la sédimentation des fines particules. Il est admis que les particules fines (argile , limon) des sédiments ont davantage tendance à retenir les métaux lourds que les grosses particules (sable, gravier) (Håkanson et Jansson, 1983; Sly et coll., 1981). Cette cartographie des pourcentages d'argile et de limon nous permet de mettre en relation les répartitions en contaminants avec le potentiel d'adsorption des sédiments.

METAUX LOURDS

Nous avons cartographié la répartition spatiale des métaux lourds. Six des huit métaux lourds étudiés ont sensiblement la même répartition spatiale: Ni(figure IV), Pb (figure V), Cr, V, Zn et Co. Le As et le Hg se comportent différemment.

Pour les 6 premiers, on remarque qu'il existe trois zones de fortes concentrations. Deux de ces zones se situent au sud du lac St-Louis : l'une au sud de l'île Perrot près de l'embouchure de la rivière des Outaouais, l'autre au sud des îles de la Paix près de l'embouchure de la rivière St-Louis. La troisième zone se trouve au nord du lac entre la pointe Claire (Dorval) et la

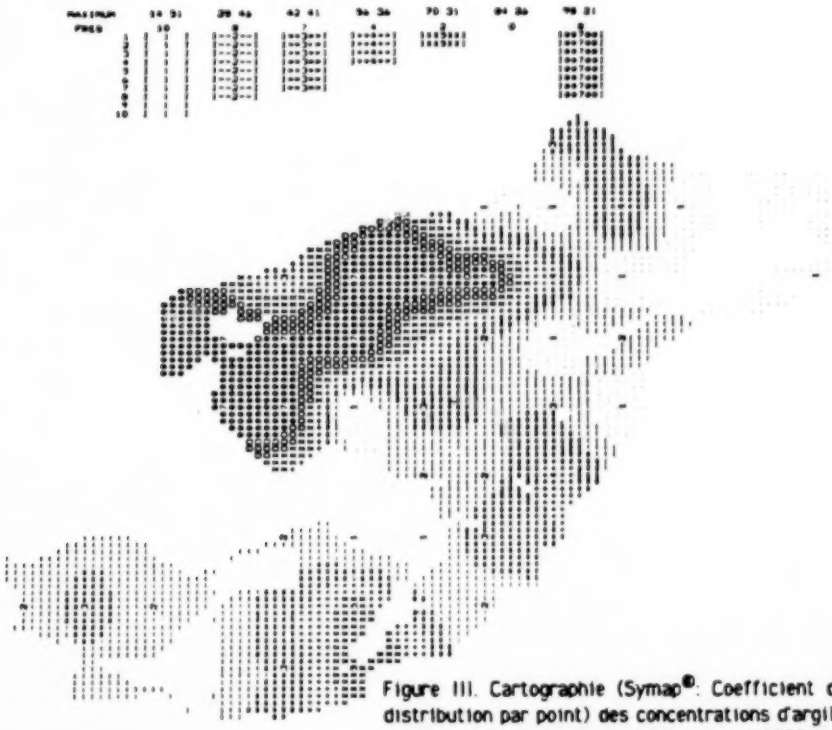

Figure III. Cartographie (Symap©: Coefficient de distribution par point) des concentrations d'argile et de limon en pourcentage (particule ≤ 0,0625mm) dans les sédiments prélevés à 39 stations du lac St-Louis au cours de l'été 1984. Les stations sont réparties en sept classes qui divisent la gamme (min —› max) des pourcentages. En haut, un histogramme donne le nombre de stations dans chaque classe ainsi que les limites de celle-ci. Sur la carte, les chiffres (1-7) indiquent la position d'une station et sa classe. Les zones blanches désignent les îles et les régions de roc et de gravier.

Figure IV Cartographie (Symap®, coefficient de distribution par point) des teneurs (mg kg^{-1}) en Ni dans les sédiments prélevés à 39 stations du lac St-Louis au cours de l'été 1984. Les stations sont réparties en sept classes qui divisent la gamme (min ---> max) des valeurs pour chaque métal. En haut, un histogramme donne le nombre de stations dans chaque classe ainsi que les limites de celle-ci. Sur la carte, les chiffres (1-7) indiquent la position d'une station ainsi que sa classe. Les zones blanches désignent les îles et les régions de gravier et de roc.

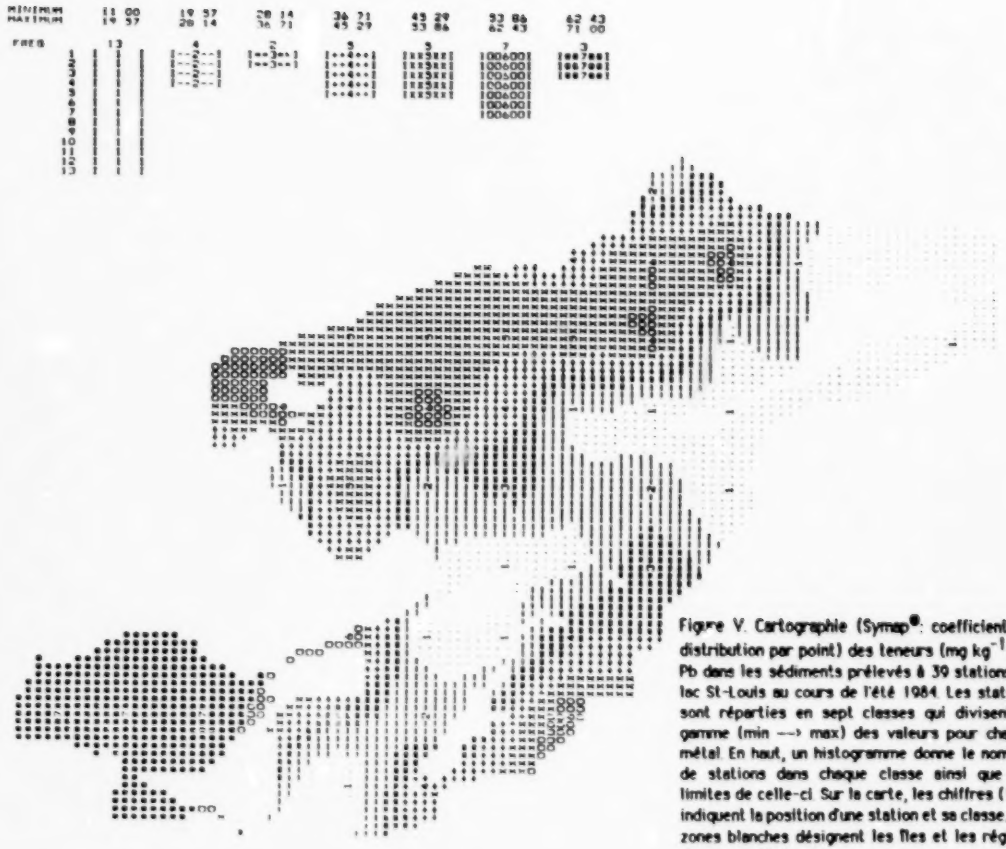

Figure V. Cartographie (Symap®: coefficient de distribution par point) des teneurs (mg kg^{-1}) en Pb dans les sédiments prélevés à 39 stations du lac St-Louis au cours de l'été 1984. Les stations sont réparties en sept classes qui divisent la gamme (min —› max) des valeurs pour chaque métal. En haut, un histogramme donne le nombre de stations dans chaque classe ainsi que les limites de celle-ci. Sur la carte, les chiffres (1-7) indiquent la position d'une station et sa classe. Les zones blanches désignent les îles et les régions de gravier et de roc.

Grande Anse (île Perrot). La première zone s'explique difficilement, puisqu'elle ne correspond pas à l'une des zones de sédimentation de fines particules que nous avons trouvé. Cependant, ces observations sont en accord avec la description des zones de sédimentation faite par Sérodes (1978). La zone centrale du lac, ainsi que les régions de l'émissaire du lac St-Louis (Ville de Lachine), ont des teneurs nettement inférieures en métaux lourds. Ceci s'explique par des courants plus forts qui ne permettent pas la sédimentation des argiles et des limons. Il semble également qu'il y ait un apport général de métaux lourds par la rivière des Outaouais dans la zone au nord du lac et celle au sud de l'île Perrot, de même qu'un apport important, mais plus localisé, de la rivière St-Louis dans la zone au sud des îles de la Paix.

Dans le cas de l'As (figure VI), la majorité des stations ont des concentrations inférieures à la limite de détection de la méthode utilisée (1 mg/kg). Par contre, des teneurs assez élevées et ponctuelles sont observées au nord du lac devant les pointes Claire, Charlebois et Beaconsfield, ainsi qu'à une station dans le secteur des îles de la Paix. Une telle répartition suggère que l'arsenic ne provient pas des tributaires principaux, mais plutôt de sources ponctuelles dans les secteurs concernés (rivières, ruisseaux, égouts). D'autre part l'As étant un métalloïde, ayant donc un comportement géochimique différent des métaux lourds, ce qui expliquerait son patron de répartition particulier.

Le Hg n'est pas réparti en fonction des zones de sédimentation du lac St-Louis, bien qu'il soit présent à la majorité des stations (figure VII). On ne le retrouve en concentration importante que dans le secteur au sud des îles de la Paix près de la rivière St-Louis. Cette observation est corroborée par les résultats de Sérodes (1978). Dans ce cas, il est reconnu que la rivière St-Louis est responsable de la contamination des sédiments de cette région (Sérodes, 1978; Sérodes et Talbot, 1978; Malo et Gouin, 1977).

LES COMPOSÉS ORGANIQUES

L'Aroclor 1260™ et le pp'-DDE ont le même patron de répartition que la majorité des métaux lourds, c'est-à-dire que les hautes teneurs se retrouvent principalement dans les 3 zones de sédimentation du lac St-Louis décrite par Sérodes (1978). Les Aroclors 1242™ (figure VIII) et 1254™ ont le même patron de répartition, sauf la zone au sud de l'île Perrot. Il est à noter que cette région a un pourcentage en argile et en limon inférieur aux deux autres zones de sédimentation, ce qui pourrait expliquer les faibles teneurs d'Aroclor 1242™ et 1254™ retrouvées dans cette région. De plus, l'Aroclor1260™, à cause de sa teneur plus élevée en chlore, est moins dégradable dans les sédiments. Finalement, le HCB ne se retrouve que dans la région des îles de la Paix, avec le même patron de répartition que le mercure. La ressemblance entre la répartition du Hg et celle du HCB nous laisse à penser que les industries situées en bordure de la rivière St-Louis pourraient être la source de ce polluant. Cependant, nous n'avons pas trouvé dans la littérature de renseignements permettant de vérifier cette hypothèse.

Figure VI . Cartographie (Symap®: coefficient de distribution par point) des teneurs (mg kg^{-1}) en As dans les sédiments prélevés à 39 stations du lac St-Louis au cours de l'été 1984. Les stations sont réparties en sept classes qui divisent la gamme (min ---› max) des valeurs pour chaque métal. En haut, un histogramme donne le nombre de stations dans chaque classe ainsi que les limites de celle-ci. Sur la carte, les chiffres (1-7) indiquent la position d'une station et sa classe. Les zones blanches désignent les îles et les régions de gravier et de roc.

Figure VII Cartographie (Symap®, coefficient de distribution par point) des teneurs (mg kg^{-1}) en Hg dans les sédiments prélevés à 39 stations du lac St-Louis au cours de l'été 1984. Les stations sont réparties en sept classes qui divisent la gamme (min ---> max) des valeurs pour chaque métal. En haut, un histogramme donne le nombre de stations dans chaque classe ainsi que les limites de celle-ci. Sur la carte, les chiffres (1-7) indiquent la position d'une station et sa classe. Les zones blanches désignent les îles et les régions de gravier et de roc.

Figure VIII Cartographie (Symap coefficient de distribution par point) des teneurs (mg kg^{-1}) en Aroclors™ 1242 dans les sédiments prélevés à 39 stations du lac St-Louis au cours de l'été 1984 Les stations sont réparties en sept classes qui divisent la gamme (min —> max) des valeurs pour chaque Aroclor™ En haut un histogramme donne le nombre de stations dans chaque classe ainsi que les limites de celle-ci Sur la carte, les chiffres (1-7) indiquent la position d'une station ainsi que sa classe Les zones blanches désignent les îles et les régions de gravier et de roc

METHODES MULTIDIMENSIONELLES

LES GROUPEMENTS

Dans la cartographie des groupements (figure IX) des éléments majeurs, on remarque que les trois zones de sédimentation du lac St-Louis se regroupent ensemble (groupe #3). Il faut remarquer que certaines stations des zones de sédimentation, en particulier dans la zone nord, ne se regroupent pas avec le groupe #3. Deux de ces stations (I2 et F2) auront d'ailleurs un comportement particulier tout au long de l'analyse statistique, formant à elles seules un groupe (#7) distinct, ce qui donne à la zone au nord du lac un aspect hétérogène. D'autre part, les régions caractérisées par une contamination moins importante (région centrale et de l'émissaire) forment deux autres groupes (#1 et #5). Il semble que ces régions, où la contamination est moins élevée , possèdent deux types de minéralogie.

Les groupements basés sur les contaminants (figure X) produisent une cartographie différente de celle des éléments majeurs de la minéralogie. La zone de faible contamination n'est caractérisée que par un seul groupe, homogène et vaste, allant du canal de Beauharnois aux rapides de Lachine et englobant la région centrale du lac. Il est normal que les stations qui ont des teneurs en contaminants près de zéro se regroupent ensemble.

Par ailleurs, les zones de sédimentation au sud de l'île Perrot et au sud des îles de la Paix sont représentées par deux groupes distincts (groupe #5 et groupe #9). Il semble que la zone au sud de l'île Perrot soit surtout influencée par les eaux de la rivière des Outaouais. De la même façon, on sait que la région au sud des îles de la Paix est surtout influencée, en ce qui concerne la provenance des contaminants, par la rivière St-Louis. La zone de sédimentation au nord du lac est représentée par une multitude de groupes difficiles à distinguer. Pour expliquer la présence de ces nombreux groupes, il est possible que plusieurs facteurs soient responsables de la contamination dans cette zone. En effet, il existe un battement des "eaux vertes et brunes" dans cette région et de nombreux égouts industriels et municipaux s'y rejettent. De plus, il a déjà été mentionné que la minéralogie de cette zone montrait une assez forte hétérogénéité. L'ensemble de ces facteurs pourrait contribuer au fait que l'on retrouve beaucoup de stations contaminées, au nord du lac St-Louis, mais visiblement pas contaminées de la même façon.

CORRELATIONS

Les corrélations obtenues entre les différents éléments majeurs de la minéralogie des sédiments sont significatives (probabilité < 0,05, tableau I), sauf celles associées au Ca au Na; ceci s'explique par le fait que ces deux variables sont associés aux plagioclases plutôt qu'aux argiles et aux limons.

Les métaux lourds (tableau II) montrent des corrélations très significatives entre eux, plus particulièrement entre les Ni, Cr, Pb, Co et Zn ($0,6 \leq r \leq 0,8$); le Hg présente des corrélations avec les autres métaux lourds, mais celles-ci sont un peu plus faibles ($0,32 \leq r \leq 0,56$). L'As, pour sa part, n'a

Figure IX Cartographie des groupements (similarité de Gower, agglomération hiérarchique à lien intermédiaires, connexité de 0,75) des échantillons de sédiments prélevés à 39 stations du lac St-Louis en été 1984, en fonction des éléments majeurs de la minéralogie (Si, Al, Fe, Mg, Ca, Na, K, Ti, Mn et P). Sur la carte, les chiffres (1, 3, 5, 7 ou 9) indiquent la position d'une station ainsi que son groupe. Les zones blanches désignent les îles et les régions de gravier et de roc

Figure X Cartographie des groupements (similarité de Gower, agglomération hiérarchique à lien intermédiaires, connexité de 0,75) des échantillons de sédiments prélevés à 39 stations du lac St-Louis en été 1984, en fonction des contaminants chimiques (Ni, Co, Cr, V, Pb, Zn, Hg, Aroclor1242™, Aroclor1254™, Aroclor1260™, HCB et pp' DDE) Sur la carte, les chiffres (1, 3, 5, 7 ou 9) indiquent la position d'une station ainsi que son groupe. Les zones blanches désignent les îles et les régions de gravier et de roc

pas de corrélations significatives avec les autres métaux. Les Co, Cr, Ni, Pb et V ont des corrélations significatives avec les éléments majeurs (0,38 ≤ *r* ≤ 0,86), sauf dans le cas du Ca et du Na. Ces résultats suggèrent que le Ni, le Cr, le Pb, le Co et le Zn proviennent de sources différentes que l'As et le Hg.

Les contaminants organiques (tableau II) sont peu corrélés avec les données minéralogiques (à l'exception du Mg avec lequel les corrélations sont plus élevées), de même qu'avec les métaux lourds, à l'exception du pp'-DDE qui présente 4 *r* supérieurs à 0,55 avec les Co, V, Pb et Zn. Toutefois, les corrélations entre les 5 contaminants organiques sont très élevées (0,55 ≤ *r* ≤ 0,8

Il n'y a donc pas de relation monotone entre les métaux lourds et les contaminants organiques que nous avons étudiés. Cependant, ces groupes de contaminants ont des relations monotones entre eux. Concrètement, cela signifie que lorsqu'une teneur d'un métal lourd est élevée, les teneurs des autres métaux lourds devraient aussi être élevées. De la même manière, une haute teneur d'un contaminant organique devrait entraîner de hautes teneurs chez les autres contaminants organiques. Cependant les variations des teneurs en métaux lourds explique peu les teneurs en contaminants organiques et vice versa.

Les corrélations entre les métaux lourds et la fraction à grains fins (<63µm) des sédiments du lac St-Louis sont faibles (Tableau II). Cette observation est similaire à celle de Mudroch et Litten (1982) et de Mudroch (1985) qui ont étudié la relation entre les métaux et la fraction < 63µm dans les sédiments des rivières Niagara et Détroit. Par contre, une forte corrélation a été observée dans les sédiments des Grands Lacs (Kemp et coll., 1976; Mudroch, 1984).

Les teneurs en Zn, V, Co, Ni et Cr des sédiments à grains fins du lac St-Louis sont similaires à celles trouvées dans le bassin de dépôt du lac Ontario (Kemp et coll., 1977; Mudroch et El-Shaarawi, 1985). Cependant, les teneurs en Pb dans les sédiments à grains fins du lac St-Louis sont plus faibles que dans les sédiments du lac Ontario (Tableau III). Les teneurs en Co et en V sont similaires aux teneurs précoloniales de ces éléments contenus dans les sédiments du lac Ontario (Tableau III).

Les sédiments à grains faibles du principale bassin de dépôt du lac St-Louis proviennent probablement de la rivière des Outaouais. Les valeurs du Tableau III indiquent que l'enrichissement des sédiments superficiels du lac St-Louis en Ni, Cr et en Zn est similaire à celui trouvé dans les sédiments du lac Ontario. Néanmoins, l'enrichissement en Pb est plus faible dans le lac St-Louis que dans le lac Ontario, où la source principale du Pb provient de dépôts atmosphériques (Kemp et coll., 1976). Comme la surface (et donc la possibilité de dépôts atmosphériques) du lac St-Louis est faible par rapport à celle du lac Ontario, les teneurs en Pb dans ce dernier lac indiquent un apport local

Tableau II. Matrice de corrélation (τ de Kendall) des contaminants (huit métaux lourds; les Aroclors™ 1242, 1254 et 1260) et le pourcentage d'argile et de limon (%) des sédiments prélevés à 39 stations du lac St-Louis en été 1984. Les corrélations significatives sont indiquées par des astérisques (* $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$)

	Ni	Co	Cr	V	Pb	Zn	As	Hg	A1242	A1254	A1260	HCB	DDE	%
Ni	1	0,85 ***	0,57 ***	0,81 ***	0,74 ***	0,72 ***	0,20	0,45 ***	0,34 **	0,45 ***	0,50 ***	0,30 *	0,60 ***	0,31 ***
Co		1	0,58 ***	0,86 ***	0,69 ***	0,63 ***	0,19	0,43 ***	0,29 *	0,42 ***	0,46 ***	0,24 *	0,56 ***	0,37 ***
Cr			1	0,47 ***	0,57 ***	0,55 ***	0,12	0,33 **	0,26 *	0,36 **	0,32 **	0,19	0,43 ***	0,28 **
V				1	0,64 ***	0,57 ***	0,14	0,40 ***	0,27 **	0,38 ***	0,45 ***	0,22	0,55 ***	0,35 **
Pb					1	0,72 ***	0,11	0,56 ***	0,44 ***	0,54 ***	0,60 ***	0,35 **	0,70 ***	0,34 **
Zn						1	0,12	0,47 ***	0,44 ***	0,52 ***	0,58 ***	0,37 **	0,69 ***	0,40 **
As							1	0,10	-0,02	0,01	0,02	0,07	-0,04	0,06
Hg								1	0,50 ***	0,63 ***	0,62 ***	0,43 ***	0,62 ***	0,26 *
A1242									1	0,82 ***	0,63 ***	0,74 ***	0,70 ***	0,39 ***
A1254										1	0,70 ***	0,69 ***	0,80 ***	0,43 ***
A1260											1	0,61 ***	0,72 ***	0,35 **
HCB												1	0,55 ***	0,37 ***
DDE													1	0,50 ***
%														1

Tableau III. Concentration en métaux de la fraction à grains fins des sédiments du lac Ontario* et du lac St-Louis ($\mu g \times g^{-1}$)

	Ni	Co	Cr	V	Pb	Zn	Hg
Lac Ontario							
Sédiment de surface (10 cm)	45-57	20-30	110-135	69-92	130-280	350-450	1,30-1,81
Sédiment précolonial	–	22-29	–	70-90	19-21	85-95	0,03-0,29
Lac St-Louis							
Sédiment de surface	40-51	16-24	116-143	84-97	46-57	199-533	0,01-4,80

* Kemp et coll., 1977.

Les teneurs en Hg dans les sédiments du côté sud du lac St-Louis dépassent celles des sédiments superficiels du lac Ontario, ce qui suggère une provenance d'un des affluents de la région.

Des corrélations ont également été calculées entre les coordonnées des 3 premiers axes obtenues au terme de l'analyse en coordonnées principales et la matrice des données minéralogiques, d'une part, et celle des contaminants, d'autre part.

Les trois premiers axes des coordonnées principales obtenues avec la matrice minéralogique expliquent 41,48% (27,21% pour 1er axe, 8,05% pour le 2ème axe et 6,22% pour 3ème axe) de la variance observée. Cependant, les corrélations entre les variables minéralogiques et le premier axe des coordonnées principales ne permettent pas d'isoler une variable responsable de la position des objets. En effet, 8 des 10 variables ont des $r \geq 0,68$ (les deux exceptions étant le Na et Ca). Il ne semble donc pas y avoir de variable qui influence plus particulièrement la position des groupes, donc la composition minéralogique des sédiments du lac.

D'autre part, l'analyse des coordonnées principales calculée à partir de la matrice de tous les contaminants montre un pourcentage plus faible de variance expliqué par les trois premiers axes, soit 25,72% (15,20% pour 1er axe, 7,28% pour le 2ème axe et 3,34% pour le 3ème axe). De la même façon que précédemment, la plupart des variables étudiées ont de fortes corrélations avec le premier axe des coordonnées principales ($0,81 \geq r \geq 0,56$), la seule exception étant l'arsenic avec un r de 0,10 (non significatif). Ici non plus, il ne sera pas possible d'identifier une variable plus particulièrement responsable de la dispersion des objets, donc responsable de la composition en contaminants des sédiments du lac.

Ces corrélations généralement fortes entre le premier axe et les différentes variables étudiées sont assez normales, compte tenu des hautes corrélations observées entre les variables elles-mêmes.

COMPARAISON DES DONNEES AVEC LES NORMES EXISTANTES

Pour la plupart des contaminants étudiés (tableau 1), nous observons des teneurs supérieures aux normes établies par le Ministère de l'Environnement de l'Ontario (MEO) pour le dépôt des déchets de dragage en eau libre (Persaud et Wilkins, 1976). Mentionnons le Cr, où la valeur minimale dans nos stations est le double de la norme du MEO. Seul le Co se retouve dans toutes nos stations à des concentrations inférieures à la norme. Nous en concluons que les sédiments du lac St-Louis présentent un risque potentiel pour l'environnement aquatique. Tout aménagement du lac St-Louis entraînant la remise en suspension des sédiments devrait être précédé, selon nous, par des études exhaustives sur la toxicité des sédiments de la région concernée.

Tableau IV. Comparaison des teneurs ($mg\ kg^{-1}$) en contaminants des sédiments prélevés à 39 stations du lac St-Louis au cours de l'été 1984, avec les normes établies par le Ministère de l'Environnement de l'Ontario (MEO) pour le dépôt des déchets de dragage en eaux libres (Perreault et Wilkins, 1976).

Contaminant	#de stations détecté	valeur minim.	valeur maxim.	norme MEO	#de stations > norme
Ni	39	9	99	25	21
Co	39	5	32	50	0
Cr	39	54	190	25	39
V	39	21	119	*	*
Pb	39	11	71	50	12
Zn	39	24	570	100	27
As	17	<1	19	8	7
P	39	1100	8500	1000	39
Fe	39	10000	129000	10000	39
Hg	36+	0.01	4.8	0.3	12
BPC@	37++	0.005	0.41	0.05	26

*norme non établie
+seulement 36 stations analysées
++seulement 37 stations analysées
@seulement les Aroclors™ (1242, 1254, 1260) analysés

CONCLUSION

L'ensemble des méthodes statistiques utilisées conduisent sensiblement au même patron de contamination. Les répartitions spatiales des divers contaminants sont, pour la plupart, assez semblables, montrant 3 zones d'accumulation, dans lesquelles les contaminants se retrouvent tous à des teneurs élevées. La méthode de groupement des stations en fonction de leur ressemblance mène à un résultat similaire, soit une grande région peu contaminée au centre, deux régions contaminées et homogènes au sud et une plus hétérogène au nord. Les corrélations généralement fortes entre les divers contaminants, de même qu'entre les contaminants et les axes des coordonnées principales, viennent renforcer les résultats précédents.

Les sédiments du lac St-Louis montrent des teneurs assez élevées, dépassant généralement les normes du MEO, pour la majorité des contaminants analysés (Ni, Cr, Pb, Zn, As, Hg et les BPCs).

Cette étude nous permet donc de visualiser la répartition spatiale de la contamination dans les sédiments du lac St-Louis. Cependant, compte tenu de la dynamique de la sédimentation au cours des ans, des études subséquentes devraient être entreprise pour maintenir à jour nos connaissances dans le domaine.

REMERCIEMENTS

Cette étude a été effectuée grâce à une subvention du "Toxfund" d'Environnement Canada (H. Sloterdijk) et à une subvention thématique du Conseil de Recherche en Sciences naturelles et en Génie du Canada (CRSNG) (G1571, P. Ross et coll.). Le personnel de la DGEI-O des laboratoires Capitaine Bernier et de l'Institut National de Recherche en Eau de la DGEI (Burlington, Ontario) a été assuré par leurs budgets opérationnels. Y. Couillard a bénéficié d'une bourse d'étude CRSNG, et L. Champoux d'une bourse du fonds FCAC pour la Formation des Chercheurs et Actions Concertées du ministère de l'Education du Québec. P. Ross était Attaché de Recherche-Développement du CRSNG. L. Champoux et V. Jarry étaient engagés dans le cadre du Programme d'Emplois d'Eté Axés sur la Carrière (PEEAC). Nous remercions tout particulièrement les étudiants de premier cycle, F. Blanchette et B. Lapiante (bourse d'été CRSNG), D. Léger et J. Parent (Emploi et Immigration Canada) et J.-F. Doyon, qui ont travaillé, sans compter, aux différentes étapes de ce projet. Nous remercions également M.-J. Fortin pour son aide dans la compréhension des méthodes d'analyse spatiale et le Dr P. Legendre pour ces précieux commentaires lors de la lecture du manuscrit. Le temps d'ordinateur a été fourni par le Centre de Calcul de l'Université de Montréal.

BIBLIOGRAPHIE

Anonyme. 1980. Environnement Québec. Comité de la normalisation des méthodes d'analyse. Bureau d'études sur les substances toxiques. Les méthodes d'analyses des pesticides organochlorés et des biphényles polychlorés. 184pp.

Brundritt, J. K. 1963. The dual nature of Lake St.Louis, Quebec M.Sc. Thesis, Université de Montréal. 110pp.

Clark, P.J. et Evans, F.C. 1954. Distance to Neighbor as a Measure of Spatial Relationships in Population. Ecology, 35: 445-453.

Dolcarter, D. L., Syers, J. K. et Jackson, M. L. 1970. Titanium as a free oxide and subtituted forms in kaolinites and others soil minerals. Clay and Clay Minerals, 18: 71-79.

Dougenik, G.A. et Sheenan, D.E. 1977. Symap User's Reference Manual. Laboratory for Computer Graphics and Spatial Analysis. Graduate School of Design, Havard University. Camera Stat. of Bedford, Massachusetts. Union Bookbinding of Boston, Massachussetts.

Duncan, G.A. et LaHaie, G.G. 1979. Size Analysis Procedure used in the Sedimentology Laboratory, NWRI. NWRI, CCIW, Hydraulics Division Manual, September 1979.

Frontier, S. 1983. Stratégies d'Echantillonnage en Ecologie. Masson Paris et Les Presses de l'Université Laval, xvii + 494pp.

Gouin, D. et Malo, D. 1978. Rapport technique #13. Description des mélanges. Rapport soumis au comité d'étude sur le fleuve St-Laurent par le Service de la Protection de l'Environnement, Environnement Canada.

Gower, J.C. 1966. Some distance properties of latent root vector methods used in multivariate analysis. Biometrika 53: 325-338.

Gower, J.C. 1971. A general coefficient of similarity and some of its properties. Biometrics 27: 857-871.

Håkanson L. et Jansson M. 1983. Principles of Lake Sedimentology. Springer-Verlag, 316pp.

Kemp, A. L. W. et Thomas, R. L. 1976. Cultural impact on the geochemistry of sediments in lakes Ontario, Erie and Huron. Geoscience Can. 3:191-207.

Kemp, A. L. W., Thomas, R. L. et Williams, J. D. H. 1977. Major elements, trac metals, sediment particule size, water content, Eh and pH in 26 cores from Lakes Superior, Huron, Erié and Ontario. Environnement Canada, rapport non publié.

Lascombe, C. et Carbot, D. 1984. Connaissance et cartographie de la pollution des eaux courantes. Bulletin d'Ecologie 15: 39-46.

Legendre, L. et Legendre, P. 1984. Ecologie Numérique, 2^{e} édition, tome 1 & 2 Collection d'Ecologie, Masson, Paris et Les Presses de l'Université du Québec. xv + 260p., viii + 335p.

Malo, D. et Gouin, D. 1977. Rapport technique #12. Incidences des rejets industriels et municipaux, tome I. Rapport soumis au Comité d'Etude du fleuve St-Laurent par les Services de Protection de l'Environnement du Quebec. 247p..

Mudroch, A. et Litten, S. 1982. Standardization of contaminants data for Niagara River sediment. Rapport du US-Canada Niagara River Toxics Committee, décembre 1982.

Mudroch, A. 1984. Particule size effect on concentration of metals in Lake Erie bottom sediments. Water Poll. Res J. Can. 19: 27-35

Mudroch, A. et Duncan, G. A. 1985. Distribution of metals in different size fractions of sediment from Niagara River. J. Great Lakes Res. soumis pour publication.

Mudroch, A. et El-Shaarawi, A. H. 1985. Assessment of the spatial and temporal variability of the sediment of the western basin of lake Ontario. Abstract. 28th Conference on the Great Lakes Research, Internal. Assoc. Great Lakes Res., Milwaukee, Wisconsin.

Pageau, G., 1971. La valeur des indices physico-chimique dans la distinctions des trois masses d'eau du lac St-Louis. Québec, Ministère du Tourisme, de la chasse et de la Pêche, Service de la faune. Rapport 6:1-14.

Pageau, G., Gravel, Y. et Lévesque, L. 1971. Québec Departement of Tourisme, Fish and Game, Wildlife Service, Research Laboratory, Montréal, Québec. The Ichtyaufauna and flora of lake St-Louis on the St-Lawrence river near Montréal, Québec. General features and recent changes. Proc. 14th conf. Great Lakes Res., 1971: 79-89. Int Assoc. Great Lakes Res. .

Persaud, D., et Wilkins, W. D. 1976. Evaluating Construction Activities Impacting on Water Resources. Water Resource Branch, Ministry of Environment of Ontario.

Préfontaine, G. 1942. Etude biologique des eaux de la plaine de Montréal et description générale des eaux de la plaine de Montréal. In Rapp. Station Biol. Montréal, Inst. Biol. Univ. Montréal, Fascicule 1:33-67.

Projet Archipel, 1983. Etude sédimentologique. Cartes de subtrats, lac St-Louis, échelle 1:10000. Hydrotech inc.

St-Cyr, L. 1984. Croissance et Reproduction du Vallisneria americana Michaux sur le littoral des lacs St-Louis, St-François et des Deux Montagnes. Mémoire de Maîtrise, Université de Montréal. 255pp.

Sérodes, J.-B. 1978. Rapport technique #15. Qualité des sédiments de fond du fleuve St-Laurent entre Cornwall et Montmagny. Rapport soumis au Comité d'Etude sur le fleuve St-Laurent, par la Direction générale des Eaux Intérieures, Environnement Canada, 467pp.

Sérodes, J.-B. et Talbot, 1978. Projet de restauration du sud du lac St-Louis contaminé par le mercure. Service de Protection de l'Environnement, Bureau d'étude sur les subtances toxiques, et Direction générale des Eaux Intérieures, Environnement Canada.

Sloterdijk, H. 1985. Les subtances toxiques dans les sédiments du lac St-François (fleuve St-Laurent). Rapport technique, Direction générale des eaux interieur (région du Québec). Service de la conservation d'Environnement Canada.

Sly, P.G. , Golterman, H.L. et Thomas, R.L. 1984. Importance des sédiments dans l'étude de l'environnement aquatique. Bulletin de la qualité des eaux, 6. 29-33 et 53-54.

Sokal, R. R. et Rohlf, F.J. 1981. Biometry. The principles and pratice of statistics in biological research. 2nd edition. W.H. Freeman and Co., San-Francisco. xviii + 859pp.

Sydor, M. 1978. Rapport technique #16. Etude d'un modèle bidimensionnel pour le fleuve St-Laurent. Rapport soumis au comité d'étude sur le fleuve St-Laurent par la Direction de Planification et de la Gestion (eaux). Environnement Canada, 136pp.

Williams, J. D. H., Jaquet, J.-M. et Thomas, R. L. 1976. Forms of phosphorus in the surficial sediments of Lake Erie. J. Fish. Res. Board Can. 33. 413-429.